



原子爐安全研究의 機械工學

車 宗 熙

<韓國原子力研究所 所長·工博>

原子力發電所의 熱源인 原子爐는 莫大한 潛在 에너지와 核分裂에 의하여 생기는 多量의 放射能을 保有하고 있다. 이 放射能은 무슨 事故라도 생기면 原子爐 밖으로 漏出되어 從事員이나 隣近 住民들에게 害를 끼칠 憂慮가 있으며 原子爐 安全의 基本은 이 放射能을 確實하게 管理하는 것이다.

原子爐安全을 위하여 多重防護의 理念이 있는데 이것은 異常이나 故障없이 原子爐를 運轉할 수 있도록 하며 異常이나 故障이 일어났을 때는 이를 早期에 發見하는 手段을 여러겹 두어 事故가 發展하지 않도록 하며 또 만일 事故가 일어났다 하더라도 이것의 擴大를 最小로 억제하여 그 被害가 널리 미치지 않도록 하는 것이다. 이를 위하여 原子爐의 設計, 建設, 運轉의 各 단계에서 充分한 安全이 確保되도록 基準과 評價方法이 確立되고 事故에 대한 充分한 對應策을 마련하는 安全研究가 必要한 것이다.

原子爐安全研究는 原子爐壓力境界의 信賴性, 健全性의 向上을 위한 研究, 核燃料體의 健全性 研究, 冷却材喪失事故 및 非常爐心冷却系統의 性能評價研究等 많은 部分이 機械工學分野에 속하며 이에 對한 關心을 促求하는 뜻에서 그 概要를 紹介한다.

原子爐壓力境界에 관한 研究는 原子爐의 平常運轉狀態에서 異常이 생기지 않도록 原子爐系統의 主要部品, 即 壓力容器, 蒸氣發生器, 1次冷却系配管등의 信賴性을 높이고져 하는것이 目的이며 材料特性研究, 配管信賴性研究, 腐蝕크랙 研究, 미사일事故研究등이 主要課題들이다.

原子爐系統 部品の 材料特性研究는 爐心으로부터 받는 中性子照射에 의하여 壓力容器用 鋼材가 原子爐의 壽命期間中에 脆化하는 정도를 定量的으로 評價하는 方法을 確立하는 것을 目的으로 하고 있다. 이 鋼材의 破壞靱性值를 破壞力學的手法으로 求하는 方法을 確立하기 위해 未照射材 및 照射材에 대하여 破壞靱性試驗이 꾸준히 進行되고 있다. 한편 原子爐運轉環境下에서의 材料의 破壞靱性值를 求하기 위해 腐蝕環境下에서의 破壞靱性試驗도 重要視되고 있다.

原子爐系統內 配管에 發生한 크랙이나 缺陷이 原子爐의 使用期間中 어떻게 傳播舉動을 나타내는가를 밝히는데는 環境條件의 영향 및 荷重條件과 크랙傳播特性의 關係를 明白히 하여야 한다. 一般으로 原子爐의 1次冷却系配管에 負荷되는 荷重으로는 內壓과 外壓에 의해 생기는 1次應力外에 溫度變化에 의해 생기는 熱應力과 溶接殘留應力등 2次應力이 負荷된다. 이들 荷重條件은 原子爐의 狀態에 따라 달라짐으로 配管내 생기는 크랙傳播도 이 荷重의 履歷의 影響을 받음으로 매우 複雜한 現象이 된다.

1次冷却系配管의 信賴性研究는 配管材의 溶接部의 殘留應力이 疲勞크랙의 傳播特性에 미치는 影響과 1次冷却系配管에 缺陷이 생겼을때 反復荷重에 의하여 缺陷으로부터 크랙이 傳播되어 가는 過程 및 過大荷重에 의한 크랙의 傳播舉動究明등이 主要課題이다.

原子爐壓力境界材料는 腐蝕이나 放射線損傷때문에 材料表面의 物理化學의 狀態, 材料內部的 組織, 原子配列등의 變化가 瞬間的 또는 經年累積

의므로 일어난다. 使用期間中 이들의 變化가 靜荷重, 變動荷重 또는 振動荷重의 交番荷重이 重疊되어 缺陷이 擴大되어 간다.

腐蝕크랙研究는 材料表面의 微小缺陷이 高溫高壓水環境下에서 腐蝕疲勞에 의해 擴大하는 現象에 對하여 이것의 支配因子를 究明하는 일들이 進行되고 있다. 또 크랙의 成長에 수반하여 發生하는 音波를 檢知하여 成長性缺陷의 檢출이나 速度評價를 하는 Acoustic Emission 檢査技術의 開發도 活潑하다.

原子力發電所에서는 內的 또는 外的要因에 의하여 飛來物이 發生하였을때 이 飛來物이 安全上 重要한 構造物, 工學的安全施設系機器 및 다른 重要 構成機器等に 미치는 影響을 最小限으로 저지하여 原子力發電所의 安全을 해치는 일이 없도록 設計하기 위한 飛來物事故荷重의 研究도 主要課題의 하나이다.

그밖에 1次冷却系配管이 瞬時に 破斷된 경우 破斷口로부터 放出되는 제트流에 의한 波及效果와 이것에 수반하여 생기는 配管反力 및 Pipe Whip 現象의 解明研究도 必要하다.

核燃料體의 安全을 確保하는 基本은 原子爐의 定常運轉時와 異常過度狀態時등 모든 狀態에서 核燃料펠렛內에 蓄積된 核分裂生成物을 核燃料被覆管內에 封入시키는 것이다. 그러나 爐心內에는 多數의 燃料棒이 있으므로 그중 극히 一部가 破損되는 일이 있으며, 또 重大한 異常過度狀態時에는 더욱 많은 燃料棒이 破損되는 일도 豫想할 수 있다. 따라서 燃料體의 安全研究는 燃料被覆管이 破損하는 現象, 限界等을 究明하여 燃料의 健全성을 確保하는 對策을 세울 수 있게 하는것이 必要하다.

核燃料被覆管은 一般으로 燃料의 燃焼에 따른 高溫 및 高放射能의 環境下에 있으며 또 冷却材의 壓力, 燃料棒內의 壓力等에 의한 應力을 받는 條件下에 있어 複雜한 現象을 나타낸다. 核燃料펠렛과 被覆管과 相互作用의 究明도 오늘의 重要課題가 되고 있다. 核燃料安全研究는 試驗用燃料試料에 의한 파라미터를 여러가지, 多樣하게 한 實驗의 研究와 核燃料의 舉動을 模擬한

모델에 의한 計算프로그램을 사용한 解析의 研究를 서로 聯關시켜 進行시키는 것이 바람직하다고 보고 있다.

原子爐安全性을 評價할때 假想事故로서 重要하게 다루는 것의 하나가 冷却材喪失事故이다. 이것은 1次冷却系의 配管이 破斷되어 冷却材가 流出하여 爐心の 熱除去能力이 低下하는 現象이다.

破斷이 일어났을때는 爐의 非常停止裝置가 作動하여 爐出力은 停止되나 燃料內의 核分裂生成物의 崩壞熱에 의한 發熱等은 長期間에 걸쳐 持續한다. 이 때문에 冷却能力이 低下된 爐心の 燃料는 溫度가 上昇하여 그 結果, 燃料被覆管의 一部破損을 招來하여 核分裂生成物이 原子爐格納容器內에 放出하는 一連의 經過를 생각할 수 있다. 被覆管의 過熱에 의한 破損을 막기 위해 爐心에 冷却水를 注入하는 非常爐心冷却系統이 設置된다.

冷却材喪失事故의 研究는 事故過程, 即 블로우다운(blowdown) 過程에 따른 爐心內 熱水力學的 舉動, 即 壓力, 溫度, 流量, 질리티(quality)등의 時間的 變化的 實驗의 解明에 主眼點을 두고 있으며 그 結果로부터 事故規模의 推定, 非常爐心冷却機能의 適否判定등에 活用된다.

非常爐心冷却系統에 대하여는 相當한 效果가 期待되고 있으나 아직 實驗의 實證은 充分하지 못한 狀態이다. 이 系統은 原子爐安全上 極히 重要한 設備로서 그 有効性 및 그것에 미치는 諸因子의 影響을 實證的이고 定量的으로 研究하여 冷却材喪失事故에 對해 安全餘裕를 주도록 設計되어야 할 것이다.

冷却材喪失事故時 冷却材喪失에 의해 過熱된 爐心에 非常爐心冷却系統으로부터 冷却水가 注入되어 燃料體를 冷却하는 過程을 再冠水過程이라 한다. 이 再冠水過程에 있어서는 高溫의 爐心燃料表面에 冷却水가 附着이 잘 안되며 過熱時에 蓄積된 熱과 崩壞熱을 주로 한 發熱을 爐心으로부터 除去할때의 爐心熱水力學적이 複雜하다. 또 爐心에 注入된 冷却水의 流入이 爐心冷却時에 發生하는 蒸氣의 排出과 干涉을 한다.

再冠水研究는 模擬裝置에 의하여 再冠水時의 熱傳達係數, 爐心으로부터 流出되는 蒸氣 및 水流量, 퀴치(quench) 特性등을 實驗的으로 調査하여 現象究明을 얻고져하고 있다.

原子爐에는 工學的安全設備의 하나로서 格納容器스프레이系統이 設置되어 있다. 이 系統은 冷却材喪失事故時에 作動하여 格納容器內에 冷水를 噴射하여 格納容器內에 放出된 高壓水蒸氣를 스프레이水滴上에 凝縮함으로써 格納容器內의 壓力를 低下시키고 또 浮遊하는 放射性物質을 水洗除去하는 役割을 한다. 이에 對한 研究는 格納容器스프레이를 模擬하는 裝置를 사용하여 假想事故를 模擬하여 스프레이에 의한 減壓效果 및 放射性物質의 除去效果를 實證하려 하고 있다.

위에 列學한 原子爐安全研究들은 機械工學中 機械材料, 破壞力學, 動力學, 應力解析, 流體力學, 熱傳達, 熱力學등 分野에 걸쳐 있다.

原子爐安全研究는 先進國, 特別 美國, 西獨, 日本, 스웨덴등의 나라에서는 國公立研究所, 原子爐製作業界, 大學등에서 주로 政府投資에 의해

活潑히 遂行되고 있다. 最近의 TMI 發電所事故以後 原子爐의 安全設計, 機器의 信賴度向上, 運轉, 補修의 安全管理의 見地에서 더욱 安全研究가 重要視되고 있다.

우리나라는 1970年代 初부터 原子爐安全研究의 必要함을 認識하여 主로 原子力研究所에서 小規模의 블로우다운實驗, 冷却材喪失事故解析을 위한 電算코드의 導入, 消化가 이루어져 왔다.

本格的 原子力發電時代를 目前에 두고 있는 現時點에서 原子力安全研究도 本軌道에 올려 놓아야 할 立場에 直面하게 되어 1977년부터 非常爐心冷却系統의 性能試驗의 一部로서 再冠水實驗을 開始하고 있다. 그러나 規模가 크고 範圍가 넓은 原子爐安全研究는 一個 研究所에서만 限定하여 遂行하기는 적차며 여러 學界의 關心과 同調가 必要하다고 본다.

原子爐安全研究는 導入, 建設되는 原子力發電所의 滿足스러운 安全性評價를 위해 必要할뿐만 아니라 事故時 이를 收拾하는데 動員될 專門家의 養成을 위해서도 必要한 것이다.



과학 기술 개발하여
새 역사의 문을 열자